M2 IAD - Université Paris 6
2011-2012

Modules MADRO/MAIAD
Projet de la partie Méthodologie de la Recherche Opérationnelle

Document 0/5 : Qu'est-ce que la Recherche Opérationnelle?

L'objectif de document est de donner une vue d'ensemble de ce que l'on appelle Recherche Opérationnelle dans le monde académique et industriel. Il ne s'agit que d'une vision partielle et certainement subjective, pour plus de détails, voir des ouvrages plus exhaustifs.

1 Définitions et historique

On peut définir la *Recherche Opérationnelle* (RO) comme l'ensemble des domaines scientifiques, des outils et des problèmes touchant aux questions d'ordre décisionnel (dit aussi stratégique) ou d'optimisation de systèmes complexes. L'expression "systèmes complexes" est à prendre ici au sens le plus littéral du terme, c'est-à-dire difficile à comprendre pour un individu sans l'aide d'un modèle ou d'un ordinateur. Les problèmes sont rendus complexes par leur dimension qui peut être importante, mais surtout par leurs structures qui peut-être par exemple combinatoires, concurrentielles, aléatoires etc.

On peut citer en exemple pertinent: la recherche d'un itinéraire sur une carte, l'ordonnancement des tâches à accomplir en usine, la décision stratégique d'investissement d'une entreprise sur un marché concurrentiel,...

1.1 Historique rapide

Si l'on peut considérer que les problèmes de RO remontent aux "jeux mathématiques" des mathématiciens depuis le XVIème siècle (Blaise Pascal, Euler,...), l'utilisation de la RO dans la société remonte à la seconde guerre mondiale.
En effet, jusque là, les problèmes restaient gérés à un niveau humain, par des entreprises de petites tailles ou par des entreprises gérées selon des principes hiérarchisés qui simplifiaient les problèmes.

On fait traditionnellement remonter l'apparition de la RO à l'organisation par les alliés du débarquement en Normandie. A cette occasion, il fallait gérer au mieux l'implantation rapide de radars, d'acheminement de troupes, la gestion de leur alimentation, des contacts entre unité etc. L'armée alliée fit appel à des mathématiciens (et quelques premiers informaticiens) pour aider à ces décisions. Le mot "Opérationnel" viendrait donc du terme militaire.
En tout cas, le mot "Opérationnel" désigne plus sûrement l'aspect appliqué des décisions prises: il ne suffit pas de donner approximativement où placer des radars, il faut en indiquer avec précision le lieu et assurer du bon fonctionnement du système! Les entreprises ont parfois ainsi une "division opérationnelle" ou "conseil stratégique" qui appuie les décisions de la direction.
Si les premiers calculs numériques des années 40 ont été réalisés à la main (exemple l'algorithme du simplexe "déroulé à la main"), c'est bien entendu l'arrivée des ordinateurs qui permet à ce domaine d'avoir une véritable mise en pratique.

Les grands groupes industriels, souvent confrontés à la reconstruction d'après-guerre, emploient dans leur service de Rercherche et Développement (R&D) des chercheurs et des ingénieurs en RO. C'est le cas en France de la SNCF, d'EDF-GDF, du CNET (labo historique des télécoms français). C'est le cas partout dans le monde à diverses échelles.
Avec l'envolée industrielle et la généralisation de l'informatique, on peut constater un "creux" historique de la RO dans les années 70. C'est en fait à cette même époque que les chercheurs (souvent mathématiciens) inventent de nouveaux procédés de RO, s'appuyant sur la puissance des ordinateurs. La RO redevient "à la mode" après les premières crises économiques et écologiques des années 70-80. On peut constater même une réelle envolée depuis quelques années, renforcée encore par la crise économique actuelle (mieux gérer pour moins dépenser). La fédération européenne de RO s'amuse ainsi à définir la RO comme la "science de la bonne gestion": Science of better.

1.2 La RO en entreprise

Pour l'entreprise, la RO constitue un outil informatique pour aider à la gestion de l'entreprise: on parle alors de science de la gestion (Managment science ou Business managment tools). La RO se retrouve donc sur une même ligne d'outils que les outils de comptabilité, de gestion de Base de données ou de gestion des sysstèmes d'information. En fait, la RO utilise ces diverses sources de données pour aider aux décisions dans l'entreprise.

1.2.1 Au sein de l'entreprises

Les grands groupes industriels ont quasiment toujours un département RO. Il est la plupart du temps intégré au pôle R&D mais il est parfois intégré dans des pôles plus décisionnaires.
Les entreprises de transport ont évidemment un grand besoin de RO, pratiquemment toutes leurs décisions demandent des outils de RO. Par exemple, la Sncf possède une "culture RO" particulière créée et accumulée en interne depuis un siècle. On retrouve aussi cela dans l'armée, l'aviation civile etc. En revanche, certaines grosses entreprises ont jonglé avec leur service RO, le réduisant ou l'augmentant selon les périodes: cela s'explique par leurs réalités stratégiques souvent fluctuantes: par exemple, EDF n'a plus cherché à économiser l'énergie avec l'arrivée du nucléaire, même situation pour France-Télécom à l'arrivée de la fibre optique...
Certains département RO en R&D d'entreprise sont parfois de véritables lieux de recherche académique, déconnecté des réalités de l'entreprise. On ne peut que constater la fin progressive de ces départements au profit d'une gestion plus orientée. Ainsi, les départements RO deviennent des pourvoyeurs d'experts et de concepteur logicieil pour les autres départements de l'entreprises. Ils jouent ainsi le rôle de consultants internes, connaisseurs du "métier" de l'entreprise. Aussi, ils effectuent une réelle veille scientifique, permettant à l'entreprise d'avoir connaissance des nouvelles avancées techniques ou de les acquérir rapidement.

Avec la disparition progressive des services de recherche RO en entreprise, les chercheurs académiques en RO se retrouvent parfois éloignés des problèmes de ces grosses entreprises: en effet, le dialogue est rendu plus difficile. Les chercheurs en R&D étaient une interface entre les deux mondes industrielles et universitaires.
Les PME, parfois gestionnaires de problèmes complexes issus des nouvelles technologie par exemple, n'ont pas la dimension suffisante pour posséder leurs propres départements de RO.

Elles font recours à des consultants extérieurs. Les grosses entreprises le font également, parfois même en dépit de la présence de compétences RO en leur sein.

1.2.2 Les consultants RO

Les consultants en RO sont demandés par les entreprises pour répondre à des besoins précis ou ponctuels. Ils sont parfois universitaires, ce qui est très répandu dans le monde anglo-saxon, mais bien plus rare en France.
Il existe de plus en plus de petites sociétés de service (SSII, consulting, conseil stratégique,...) qui proposent leurs compétences aux entreprises. Elles sont souvent spécialisés sur un type de problèmes (transport, gestion, planification, etc) ou basé sur un outil particulier (logiciel de résolution): artelys, eurodecision, dynasys,...
On peut les diviser en deux grandes catégories:
- les entreprises de décisions stratégiques qui louent les services d'un expert pour une décision précise ou une réorganisation d'un service: en général ce sont des personnes expérimentées (docteur, chercheur,...).
- les entreprises de conception logicielle RO: elle propose de construire un outil informatique spécifique à l'entreprise, interfacé avec les systèmes d'information (SI) de l'entreprises. En général, cet outil demande un suivi sur le long terme qui permet à la PME d'avoir un contrat renouvelé régulièrement. La PME réutilise souvent le même noyau algorithmique d'un logiciel à l'autre.

1.2.3 Les entreprises de production logicielle

On peut mettre à part les entreprises qui proposent des logiciels très généraux pour la RO.
D'une part, les entreprises qui ont une compétence scientifique élevée (souvent issus d'un chercheur universitaire). Il s'agit en général d'un (ou deux, rarement plus) algorithmes très compétitifs: c'est le cas de Cplex (PL, PLNE,...) , racheté par ILOG puis par IBM; de Xpresse, racheté par Dash puis par...; de LISP etc. Ces entreprises, en général, ne vivent pas que de leurs produits logiciels, elles sont également une entreprise de consulting de très au niveau scientifique.
D'autre part, certains produits logiciels vedettes contiennent, au sein d'une interface dédiée à l'entreprise, des outils de RO: c'est le cas des logiciels de SAP ou même d'Excel de Microsoft (qui contient un solveur PL).

1.3 La communauté scientifique RO

On peut affirmer que la communauté RO est principalement née au sein des départements R&D des grands groupes industriels. Ces chercheurs sont fréquemment devenus des universitaires, prenant des postes en informatique mais aussi en s'imposant comme une matière intégrée aux mathématiques, parfois même en économie ou en productique.
Depuis, il existe des équipes de RO dans ces 4 domaines universitaires, permettant ainsi une réelle richesse de cultures et d'approches. En fait, beaucoup d'universitaires déclarent généralement faire partie de la communauté RO et de la communauté plus particulière en mathématique, informatique,... Par exemple, nous allons dans ce projet aborder la RO sous l'angle de l'Optimisation Combinatoire.
La RO s'exprime au travers de journaux scientifiques spécifiques: Operations Research, The

journal of the Operational research society (royaume-uni), 4OR (France, Belgique, Italie), Rairo, European Journal of OR, Mathematics of OR, annals of OR, Computers and OR,... Et des journaux appartenant à des domaines scientifiques que l'on peut inclure dans l'OR: Mathematical Programming, Discrete Mathematics, Computational Optimization and Algorithm,... Et des journaux très spécialisés sur des domaines particuliers de la RO: Tranportation, Networks, Journal of Scheduling,...
La RO se réunit au sein de fédération de la RO (société philantropique): en france ROADEF (on en retrouve dans chaque pays: italie, UK, USA, Japon,...). Les fédérations européennes sont regroupés dans la fédération de fédération EURO. Idem au niveau international avec IFORS.
Il existe également des conférences sur les mêmes thèmes que les journaux (parfois avec le même nom) ou que les fédérations de RO. La conférence EURO rassemble jusqu'à plusieurs milliers participants! C'est l'occasion d'écouter en un même lieu les chercheurs et les ingénieurs de l'industrie, des entreprises publiques, de l'armée et de l'université. Il existe aussi des conférences de RO spécialisées sur des thèmes précis: par ex Télécom: AlgoTel, Inoc.

2 La RO: ensemble de problèmes et d'outils

On considère habituellement que la RO est finalement un ensemble de domaine scientifique, de problèmes classiques et d'outils.

2.1 Le cadre de la RO

Le cadre des problèmes de RO est assez large: il concerne tous les problèmes de décision et d'optimisation... Il est plus facile de dire ce qui ne relève pas de la RO:
- quand un problème est de structure simple mais de très grande taille: cela peut plutôt demander un outil de gestion de base de données ou de SI.
- quand le problème n'a pas de solutions évidentes, qu'on peut se demander s'il existe une solution, si la question exige des équations complexes: ce sont certainement des mathématiques
- si le problème demande une simplification de part sa nature physique ou biologique: il s'agit plutôt d'utiliser des compétences dans ces domaines,
- si le problème semble difficile mais ne concerne que des instances très très réduites, quasiment solvables à la main... il n'y a peut-être pas besoin de dévelipper un modèle ou des outils (exemple un TSP à 3 villes...).

2.2 Les domaines scientifiques

Il est difficile de classer ou de lister exhaustivement tous les domaines de la RO. D'autant que ces domaines ont tous une réalité par eux-mêmes et on peut se demander quelle partie de ces domaines est dans la RO ou pas.
- Aspect "continu":
  optimisation continue, PL,
  théorie des jeux continues,...
  optimisation stochastique
  programmation semi-définie
  simulation continue

- Aspect “discret” ou “combinatoire”:
  théorie des graphes
  algorithmique, algorithmique des graphes
  programmation dynamique
  optimisation combinatoire exacte ou à garanti d'approximation
  optimisation combinatoire heuristique
  processus markovien, file d'attente,...
  simultation discrète
  ordonnancement
  PLNE, approches polyédrales
  programmation quadratique
  programmation par contraintes
  théorie des jeux algorithmique
- Plus général:
  Complexité des problèmes, Décidabilité des problèmes,...

2.3 Les outils

Il existe de nombreux outils logiciels disponibles commercialement ou libres pour résoudre des problèmes précis ou des problèmes plus généraux.
- Logiciels d'optimisation (interactif ou modeleur)
  Solveur linéaire (cplex, LP de Coin-OR, xpress, glpk, gurobi, excel...)
  Solveur entier (cplex, xpress, glpk, gurobi,...)
  Solveur quadratique (cplex, xpress)
  Solveur continu, solveur pour programme semi-défini,...
- Logiciel de simulation
  Système de file d'attente (qnap,...)
  Système continu
- Logiciel d'aide à la décision:
  Outils à interface graphique de planification (SAP, produit ilog)...
  Outils d'analyse des problèmes (probas)...
- API (souvent C++ ou java) d'algorithmes et de Structures de données
cutting plane ou pricing: Scip, Concert technology (d'ILOG)
algo de graphes: boost, lemon,...

2.4 Les grands problèmes (problématiques) de la RO

En plus des domaines scientifiques qui sont plutôt théoriques, la RO se subdivise traditionnellement en problématiques qui se sont peu à peu constitués en véritables “problèmes”. On peut ainsi considérer qu'il existe de véritables communaités scientifiques qui, sans avoir pourtant un bagage théorique commun, se retrouvent pour parler d'applications et, parfois, mettre en concurrence leurs outils algorithmiques pour résoudre les mêmes instances d'un même problème.
On peut ainsi considérer:
- network design (conception de réseaux de télécommunication)
- transport

- localisation (plant location)
- micro-électronique (VLSI design)
- bio-informatique, applications médicales
- productique (job-shop, flow-shop,...)
- ordonnancement (domaine à la limite problématique/problème...)
- optimisation financière
- chaîne logistique (supply chain) et création de lots (lot-sizing)
- optimisation "durable"
- ... et de nouvelles problématiques se créent régulièrement.

3 La pratique de la RO

Que ce soit dans le cadre d'une grande entreprise ou d'une société de conseil, le spécialiste de RO "découvre" le problème de RO et doivent y répondre en temps limité. L'universitaire découvre généralement des problèmes plus difficiles en ayant davantage de temps pour trouver des réponses. On peut considérer qu'il existe une démarche pour approcher et résoudre un problème de RO, démarche qui dépend fortement du temps disponible, mais qui globalement suit le schéma suivant.

• *Découvrir le problème*
En général, la découverte du sujet passe par des discussions orales, souvent conradictoires avec les différents intervenants. Il s'agit de cerner la/les questions au cours de réunion et de discussion autour d'un texte qui devient vite un "cachier des charges" du projet.
Il est important de cerner le projet dans sa globalité: certains problèmes n'existent que parce que les gens se refusent à changer le cadre du problème. Inversement, un problème peut être posé en demandant explicitement de ne pas toucher à ce qui n'est pas dans le cahier des charges... Il faut insister là-dessus: par exemple: impossibilité de recruter de nouveaux collaborateurs, d'acheter un véhicule supplémentaire etc.
L'autre aspect important est la collecte des données. Il est parfois impossible d'obtenir les données réelles du problème alors qu'elles conditionnent tout le problème! En effet, si la dimension du problème est petite... ou si les données sont tellement correllées qu'elles simplifient le problème etc. On parle alors des degrés de liberté de l'énonce qui sont plus ou moins fermées.

• *Modéliser*
L'étape de modélisation est primordiale. Elle nécessite d'avoir pris le recul nécessaire sur le sujet pour choisir l'outil de modélisation: UML, graphe, réseau de pétri, PL/PLNE, SDP, ordo,... Attention, on utilise très souvent un modèle trop compliqué, ce qui revient à tenter d'utiliser un marteau-piqueur pour ouvrir une noix! Or l'outil utilisé, même s'il donne un modèle valide, peut-être très lourd à manier (temps de calcul,...). On peut même commettre l'erreur d'utiliser un outil exponentiel pour résoudre un problème polynomial!
Souvent, lors de la conception d'un modèle, on doit utiliser des hypothèses simplificatrices (linéarisation, négliger des paramètres, etc). Il est nécessaire de bien les indiquer dans le cahier des charges.

• *Valider le modèle*

Il est indispensable de "boucler" la démarche de modélisation en valident le modèle, les hypothèses, les dimensions et les données. C'est une étape parfois difficile, voire impossible si l'interlocuteur se refuse à signer le cahier des charges ou fait preuve de mauvaise foi etc.

• *Evaluer la complexité et l'état de l'art*
Etape évidemment nécessaire, il faut étudier la complexité du problème obtenu après modélisation. C'est le moment de se rendre compte si le problème traité est difficile ou pas, si un outil classique est utilisable etc.
Cette étude se couple avec un état de l'art plus ou moins exhaustif des travaux déjà faits sur ce problème ou des problèmes proches. C'est l'occasion de découvrir comment a été traité ce problème etc.

• *Choisir d'un outil (s'il existe)*
Le choix de l'outil signifie à la fois choisir un algorithme théorique mais aussi rechercher s'il existe un outil informatique disponible: solveurs, architectures objets d'algorithmes, API d'algorithmes,...

• *Etude scientifique et algorithmique*
Sans commentaire.

• *Expérimentation et retour d'expérience*
La phase de tests expérimentaux est souvent négligée car elle arrive toute à la fin de l'étude. Pour le partenaire, elle est pourtant essentielle. Elle gagne à être entammée dès le début de l'étude, par exemple en construisant une benchmark complète et validée d'instance permettant de bien évaluer les performances de l'outil produit.
Mener sa campagne d'expérimentations demandent d'avoir suffisamment d'instances de types divers et de tailles croissantes. Il faut dégager les performances, mais aussi les défauts et les limitations.
Il est aussi utile de mettre en évidence les caractéristiques fines des réactions de l'outil: on peut ainsi dégager des cas faciles (où le problème est parfois polynomial), indiquer la réaction de l'algorithme dans le cas où les données sortent du cadre initial (on parle de robustesse) ou dans le cas où les données sont non vérifiées (on parle de fiabilité).

• *Intégration et vie logicielle*
Etape nécessaire pour l'entreprise, il faut intégrer l'outil dans le cadre des outils de l'entreprise. L'interfaçage avec les SI de l'entreprise n'est pas une chose simple, ni d'ailleurs l'obligation fréquente de permette une certaine ergonomie de l'outil qui ne s'adresse pas à un public initié à la RO ou au math (pas de $x_7 = 10$...): prévoir un manuel d'utilisateur, des formations etc. D'autre part, il faut souvent prévoir que l'outil aura une vie après votre expertise. Cela consiste à prévoir un manuel du concepteur pour permettre de reprendre votre code. Cela consiste aussi à garder en main les compétences nécessaires pour faire cette évolution (collaborateurs formés etc).

• *Plannification des projets de RO*
Un problème crucial pour les entreprises de conseils en RO: l'évaluation préalable du temps

qui doit être consacré à la démarche globale d'analyse et de résolution du problème. Si ce temps est imposé à l'avance, tout est conditionné par cela. Par exemple, certains consultants ne se donnent que quelques jours: cela empêhe pratiquement tout développement théorique ou pratique d'algorithmes et pousse à l'utilisation systématique de solveurs.

4 Conclusion

Sans sectarisme, la RO est un domaine transversal entre recherche et ingénieurie, entre maths et informatique, entre théorie pure et applications. On dit qu'elle traite les problèmes de la cité (de la société), ce qui la montre utile à tous: en effet, il est toujours intéressant d'avoir un système mieux géré, plus économe sur les ressources, plus écologique,... tout en respectant les contraintes naturelles du droit du travail et le respect des conditions de travail.